

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-190976

(43)Date of publication of application : 30.07.1993

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

(21)Application number : 04-007007

(71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 18.01.1992

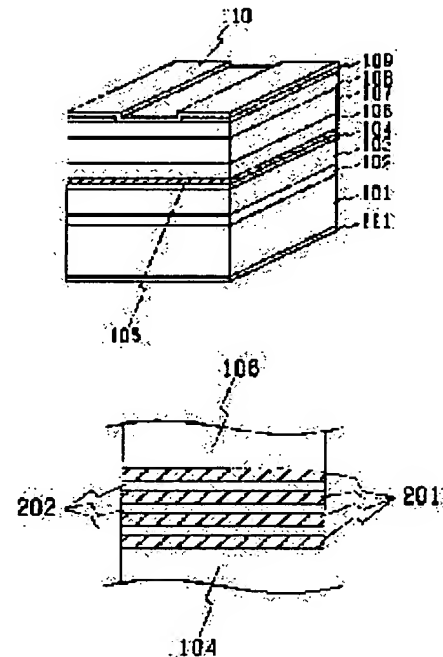
(72)Inventor : ASAGA TATSUYA

(54) SEMICONDUCTOR LASER

(57)Abstract:

PURPOSE: To restrain the spot oscillation in an active layer for equalizing and stabilizing the near view images of a horizontal and lateral mode by a method wherein the semiconductor layers comprising a quantum well structured semiconductor laser having exceeding one photowaveguide on the same single crystal substrate are to be provided with the flatness not exceeding specific value within specific range.

CONSTITUTION: The title semiconductor laser is to be quantum well structured using the quantum well layers 201 in flatness not exceeding $\pm 0.1\mu\text{m}$ within the range of $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ as well as the semiconductor layers in thickness of transition region of compositional change at the hetero-junction between quantum well layers 201 and barrier layers 202 not exceeding $0.6\mu\text{m}$. Within said semiconductor laser, a buffer layer 102, a clad layer 103, a photoconfined layer 104, a multiquantum well active layer 105, another photoconfined layer 106, another clad layer 107, a contact layer 108 are successively deposited. In such a constitution, the film formation rate and the gas transfer rate, etc., in the organic metallic chemical vapor deposition process can be optimized so that the thickness required for the compositional change at the hetero-junction between the quantum well layers 201 and the barrier layers 202 may be made extremely steep.



(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-190976

(43)公開日 平成5年(1993)7月30日

(51)Int.Cl.⁵

H01S 3/18

識別記号

庁内整理番号

9170-4M

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数2(全7頁)

(21)出願番号 特願平4-7007

(22)出願日 平成4年(1992)1月18日

(71)出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72)発明者 浅賀 達也

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ

ーエプソン株式会社内

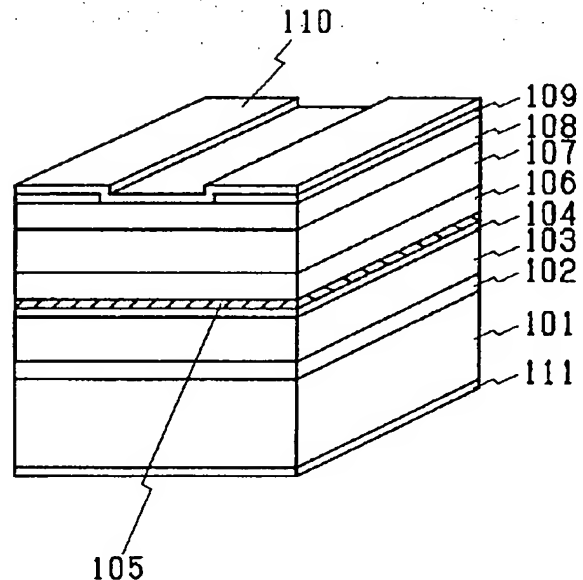
(74)代理人 弁理士 鈴木 喜三郎 (外1名)

(54)【発明の名称】 半導体レーザ

(57)【要約】

【構成】 1mm×1mmの範囲内で平坦度±0.1μm以内、量子井戸層と障壁層のヘテロ界面で組成変化の遷移領域の厚さが0.6nm以内の半導体層を用いた量子井戸構造半導体レーザ。

【効果】 水平横モードが制御され、広い温度範囲で大出力パルス発振可能な半導体レーザとなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】同一単結晶基板上に1つ以上の光導波路を持つ量子井戸構造の半導体レーザに於て、半導体レーザを構成する半導体層が1mm×1mmの範囲内で、平坦度±0.1μm以内であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項2】該量子井戸構造を構成する量子井戸層と障壁層のヘテロ界面で、組成変化の遷移領域の厚さが0.6nm以内であることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、量子井戸構造を持つ高出力パルス半導体レーザに関する。

【0002】

【従来の技術】従来、量子井戸構造半導体レーザの構造に関し、半導体レーザを構成する半導体層の平坦性、またヘテロ界面の組成変化の急峻性については、明確な限定が存在していなかった。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、極めて薄い活性層を持つ量子井戸構造半導体レーザにおいて、量子井戸構造を形成する半導体層の平坦性及びヘテロ界面の急峻性は、半導体レーザとしての特性に大きな影響を及ぼす。特に光導波路の幅が広い高出力パルス半導体レーザでは、半導体層の平坦性が悪いと、活性層の僅かな凹凸を反映して不規則なスポット状発振が生じ易くなる。またヘテロ界面の組成変化の急峻性が悪い場合も、量子井戸層の僅かな組成の不均一性を反映し、不規則なスポット状発振が生じ易くなる。このため水平横モードは近視野像及び遠視野像共に乱れ、応用上不都合が生じる。また、水平横モードが不均一の半導体レーザは光が局所集中するため端面破壊し易く、最大光出力が小さくなってしまふ。

【0004】

【課題を解決するための手段】以上に述べたような課題を解決するため、本発明の半導体レーザは、同一単結晶基板上に1つ以上の光導波路を持つ量子井戸構造の半導体レーザに於て、半導体レーザを構成する半導体層が1mm×1mmの範囲内で、平坦度±0.1μm以内であることを特徴とする。

【0005】該量子井戸構造を構成する量子井戸層と障壁層のヘテロ界面で、組成変化の遷移領域の厚さが0.6nm以内であることを特徴とする。

【0006】

【実施例】（実施例1）実施例1に、単一ワイドストライプの利得導波型半導体レーザの場合を述べる。

【0007】本発明の実施例1における半導体レーザの斜視図を図1に示す。以下に製造順序に従い説明する。n型GaAs基板101上に、n型GaAsバッファ層

102を0.5μm、n型Al_{0.11}Ga_{0.89}Asクラッド層103を1.0μm、n型Al_{0.11}Ga_{0.89}As光閉じ込め層104を0.1μm、GaAsとAl_{0.11}Ga_{0.89}Asから成る多重量子井戸活性層105、p型Al_{0.11}Ga_{0.89}Asクラッド層107を1.0μm、p型GaAsコンタクト層108を0.6μmを順次有機金属化学気相成長法で成長する。

【0008】この際、n型GaAs基板101には、1mm×1mmの範囲内で±0.05μm以下の平坦度の基板を用いている。また成長前の基板エッチングをH₂SO₄:H₂O₂:H₂O=5:1:1のエッチャントで、十分な攪拌を行ないながらエッチングすることにより、基板の平坦度を落とすことなく清浄な表面を得ている。さらに、成長した半導体層は、有機金属化学気相成長法のガスの流れを最適化することにより、膜厚分布を1mm×1mmの範囲内で±0.02μm以下に抑えている。従って、全体の平坦度は±0.07μm以下である。

【0009】図2に、図1における多重量子井戸活性層105の詳細を示す断面図を示す。GaAs井戸層201が4層、Al_{0.11}Ga_{0.89}As障壁層202が3層、交互に形成されている。ここで井戸層の厚さ10nm、障壁層の厚さ7nmである。有機金属化学気相成長法の成膜速度、ガスの切り替え速度等を最適化することにより井戸層と障壁層のヘテロ界面の組成変化に要する厚さは単原子層厚（約0.28nm）以下になり極めて急峻である。

【0010】次に熱CVD法によりSiO₂層109を堆積させ、通常のフォトリソ工程とエッチング工程によりストライプ状にp型GaAsコンタクト層108を露出させた部分を形成する。露出部の幅は250μmである。

【0011】p型オーミック電極110を、蒸着工程で形成した後、n型GaAs基板101の裏面を研磨しn型オーミック電極111を形成する。

【0012】以上の様にして製造した量子井戸構造半導体レーザは単一ワイドストライプの利得導波型となる。この半導体レーザは半導体層の平坦性が高く、かつ量子井戸構造の井戸層と障壁層のヘテロ界面の組成変化が急峻であるので、水平横モードの近視野像はストライプ全幅でほぼ均一になり、スポット状発振はみられない。またこの時の遠視野像はガウスビームに近くなる。また、量子サイズ効果が高くなり、高温でも大出力発振可能である。

【0013】図9に半導体層の平坦度と、半導体レーザの水平横モードの発光近視野像の関係を示す。図9(a)は本実施例の半導体レーザの近視野像、図9(b)は平坦度が±0.1μmの半導体レーザの近視野像、図9(c)は平坦度が±0.12μmの半導体レーザの近視野像である。平坦度が±0.12μmを超える

とストライプでの発光強度が不均一になってしまい、近視野像が乱れてしまう。この場合、遠視野像も乱れ、実用に適さない。平坦度が $\pm 0.1 \mu\text{m}$ では本実施例に比べやや不均一であるが実用には問題ない。

【0014】図10に、量子井戸層と障壁層のヘテロ界面での組成変化の遷移領域の厚さと、半導体レーザの水平横モードの発光近視野像の関係を示す。図10(a)は本実施例の半導体レーザの近視野像、図10(b)は遷移領域の厚さ 5.7 nm の半導体レーザの近視野像、図10(c)は遷移領域の厚さ 8.5 nm の半導体レーザの近視野像である。遷移領域の厚さが 8.5 nm では、組成の変わり方が面内の場所によって異なるため、これを反映しストライプでの発光強度が不均一になり、近視野像が乱れてしまう。この場合、遠視野像も乱れ、実用に適さない。遷移領域の厚さ 5.7 nm では本実施例に比べやや不均一であるが実用には問題ない。

【0015】また実施例1の半導体レーザを、パルス幅 50 ns 、 7 kHz で駆動すると、光出力はその先頭値で 50 W が可能であるが、これに対し、図9(c)の平坦度が $\pm 0.12 \mu\text{m}$ の半導体レーザでは 25 W で光学損傷が起きてしまう。図10(c)の遷移領域の厚さ 8.5 nm の半導体レーザでも 28 W で光学損傷が生ずる。実施例1の半導体レーザは、光の局所集中が起きにくく、高温でも安定に発振できるため、大出力駆動が容易である。

【0016】(実施例2) 実施例2に、3ビームのワイドストライプ利得導波型半導体レーザの場合を述べる。

【0017】本発明の実施例2における半導体レーザの斜視図を図3に示す。以下に製造順序に従い説明する。 n 型GaAs基板301上に、 n 型GaAsバッファ層302を $0.5 \mu\text{m}$ 、 n 型 $\text{Al}_{0.31}\text{Ga}_{0.69}\text{As}$ クラッド層303を $1.0 \mu\text{m}$ 、 n 型 $\text{Al}_{0.21}\text{Ga}_{0.79}\text{As}$ 光閉じ込め層304を $0.1 \mu\text{m}$ 、GaAsと $\text{Al}_{0.21}\text{Ga}_{0.79}\text{As}$ から成る多重量子井戸活性層305、 p 型 $\text{Al}_{0.31}\text{Ga}_{0.69}\text{As}$ 光閉じ込め層306を $0.5 \mu\text{m}$ 、 p 型 $\text{Al}_{0.31}\text{Ga}_{0.69}\text{As}$ クラッド層307を $1.0 \mu\text{m}$ 、 p 型GaAsコンタクト層308を $0.6 \mu\text{m}$ を順次有機金属化学気相成長法で成長する。

【0018】この際、 n 型GaAs基板301には、 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ の範囲内で $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 以下の平坦度の基板を用いている。また成長前の基板エッチングを $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 5 : 1 : 1$ のエッチャントで、十分な攪拌を行ないながらエッチングすることにより、基板の平坦度を落とすことなく清浄な表面を得ている。さらに、成長した半導体層は、有機金属化学気相成長法のガスの流れを最適化することにより、膜厚分布を $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ の範囲内で $\pm 0.02 \mu\text{m}$ 以下に抑えている。従って、全体の平坦度は $\pm 0.07 \mu\text{m}$ 以下である。

【0019】図4に、図3における多重量子井戸活性層

305の詳細を示す断面図を示す。GaAs井戸層401が3層、 $\text{Al}_{0.21}\text{Ga}_{0.79}\text{As}$ 障壁層402が2層、交互に形成されている。ここで井戸層の厚さ 10 nm 、障壁層の厚さ 7 nm である。有機金属化学気相成長法の成膜速度、ガスの切り替え速度等を最適化することにより井戸層と障壁層のヘテロ界面の組成変化に要する厚さは単原子層厚(約 0.28 nm)以下になり極めて急峻である。

【0020】次に熱CVD法により SiO_2 層309を堆積させ、通常のフォトリソ工程とエッチング工程によりストライプ状に p 型GaAsコンタクト層308を露出させた部分を3本形成する。露出部の幅は $300 \mu\text{m}$ で、その間隔は $700 \mu\text{m}$ である。

【0021】 p 型オーミック電極310A、310B、310Cを、レジストパターニング、蒸着及びリフトオフ工程で形成した後、 n 型GaAs基板301の裏面を研磨し、 n 型オーミック電極311を形成する。

【0022】以上の様にして製造した量子井戸構造半導体レーザは、 p 型オーミック電極310A、310B、310Cにそれぞれ電流注入することにより、 SiO_2 層309で電流狭窄された3本の光ビームを独立に発光することができる。この半導体レーザは半導体層の平坦性が高く、かつ量子井戸構造の井戸層と障壁層のヘテロ界面の組成変化が急峻であるので、各々の光ビームの水平横モードの近視野像はストライプ全幅でほぼ均一になり、スポット状発振はみられない。またこの時の遠視野像はガウスビームに近くなる。また量子サイズ効果も高いため、高温でも大出力発振可能である。

【0023】(実施例3) 実施例3に、リブ導波路型構造を用いた2ビームのワイドストライプ半導体レーザの場合を述べる。

【0024】本発明の実施例3における半導体レーザの斜視図を図5に示す。以下に製造順序に従い説明する。 n 型GaAs基板501上に、 n 型GaAsバッファ層502を $0.5 \mu\text{m}$ 、 n 型 $\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.67}\text{As}$ クラッド層503を $1.0 \mu\text{m}$ 、 n 型 $\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}$ 光閉じ込め層504を $0.1 \mu\text{m}$ 、GaAsと $\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}$ から成る多重量子井戸活性層505、 p 型 $\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.67}\text{As}$ クラッド層507を $1.0 \mu\text{m}$ 、 p 型GaAsコンタクト層508を $0.6 \mu\text{m}$ を順次有機金属化学気相成長法で成長する。

【0025】この際、 n 型GaAs基板501には、 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ の範囲内で $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 以下の平坦度の基板を用いている。また成長前の基板エッチングを $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 5 : 1 : 1$ のエッチャントで、十分な攪拌を行ないながらエッチングすることにより、基板の平坦度を落とすことなく清浄な表面を得ている。さらに、成長した半導体層は、有機金属化学気相成長法のガスの流れを最適化することにより、膜厚分布を

1mm×1mmの範囲内で±0.02μm以下に抑えている。従って、全体の平坦度は±0.07μm以下である。

【0026】図6に、図5における多重量子井戸活性層505の詳細を示す断面図を示す。GaAs井戸層601が3層、Al_{0.2}Ga_{0.8}As障壁層602が2層、交互に形成されている。ここで井戸層の厚さ10.4nm、障壁層の厚さ8nmである。有機金属化学気相成長法の成膜速度、ガスの切り替え速度等を最適化することにより井戸層と障壁層のヘテロ界面の組成変化に要する厚さは単原子層厚(約0.28nm)以下になり極めて急峻である。

【0027】この後、半導体層をエッチングにして、幅400μmのリブ2本を形成し、エッチングした部分は、有機金属化学気相成長法によりZnS_{0.98}Se_{0.02}層509で埋め込む。この時、エッチングはp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Asクラッド層507の界面まで行なう。

【0028】さらにp型オーミック電極510A、510Bをレジストパターニング、蒸着及びリフトオフ工程で形成した後、n型GaAs基板501の裏面を研磨し、n型オーミック電極511を形成する。

【0029】以上の様にして製造した量子井戸構造半導体レーザは、ZnS_{0.98}Se_{0.02}層509が高抵抗であるため、リブ直下の部分のみ電流が注入され2本の光ビームが得られる。さらにZnS_{0.98}Se_{0.02}層509はGaAs、AlGaAsに比べ低屈折率であるため、ZnS_{0.98}Se_{0.02}層509の下量子井戸層付近の実効屈折率が下がり、水平方向の光のしめだしが抑制される。また2本の光ビームは、p型オーミック電極510A、510Bにそれぞれ電流注入することにより、独立に発光することができる。この半導体レーザは半導体層の平坦性が高く、かつ量子井戸構造の井戸層と障壁層のヘテロ界面の組成変化が急峻であるので、各々の光ビームの水平横モードの近視野像はストライプ全幅でほぼ均一になり、スポット状発振はみられない。またこの時の遠視野像はガウスビームに近くなる。また、量子サイズ効果が高くなり、高温でも大出力発振可能である。

【0030】(実施例4) 実施例4に、埋め込み構造を用いた3ビームのワイドストライプ半導体レーザの場合を述べる。

【0031】本発明の実施例4における半導体レーザの斜視図を図7に示す。以下に製造順序に従い説明する。n型GaAs基板701上に、n型GaAsバッファ層702を0.5μm、n型Al_{0.3}Ga_{0.7}Asクラッド層703を1.0μm、n型Al_{0.2}Ga_{0.8}As光閉じ込め層704を0.1μm、GaAsとAl_{0.2}Ga_{0.8}Asから成る多重量子井戸活性層705、p型Al_{0.2}Ga_{0.8}As光閉じ込め層706を0.3μm、p型Al_{0.3}Ga_{0.7}Asクラッド層707を1.0μm、

p型GaAsコンタクト層708を0.6μmを順次有機金属化学気相成長法で成長する。

【0032】この際、n型GaAs基板701には、1mm×1mmの範囲内で±0.05μm以下の平坦度の基板を用いている。また成長前の基板エッチングをH₂SO₄:H₂O₂:H₂O=5:1:1のエッチャントで、十分な攪拌を行ないながらエッチングすることにより、基板の平坦度を落とすことなく清浄な表面を得ている。さらに、成長した半導体層は、有機金属化学気相成長法のガスの流れを最適化することにより、膜厚分布を1mm×1mmの範囲内で±0.02μm以下に抑えている。従って、全体の平坦度は±0.07μm以下である。

【0033】図8に、図7における多重量子井戸活性層705の詳細を示す断面図を示す。GaAs井戸層801が2層、Al_{0.2}Ga_{0.8}As障壁層802が1層、交互に形成されている。ここで井戸層の厚さ10.2nm、障壁層の厚さ8nmである。有機金属化学気相成長法の成膜速度、ガスの切り替え速度等を最適化することにより井戸層と障壁層のヘテロ界面の組成変化に要する厚さは単原子層厚(約0.28nm)以下になり極めて急峻である。

【0034】この後、半導体層をエッチングして、幅150μmのリブ3本を形成し、エッチングした部分は、有機金属化学気相成長法によりZnS_{0.98}Se_{0.02}層709で埋め込む。この時、エッチングはn型Al_{0.3}Ga_{0.7}Asクラッド層703の途中まで行なう。

【0035】さらにp型オーミック電極710A、710B、710Cをレジストパターニング、蒸着及びリフトオフ工程で形成した後、n型GaAs基板701の裏面を研磨しn型オーミック電極711を形成する。

【0036】以上の様にして製造した量子井戸構造半導体レーザは、ZnS_{0.98}Se_{0.02}層709が高抵抗であるため、リブの部分のみ電流が注入され3本の光ビームが得られる。さらにZnS_{0.98}Se_{0.02}層709はGaAs、AlGaAsに比べ低屈折率であるため、量子井戸活性層の水平方向の光のしめだしが抑制される。また3本の光ビームは、p型オーミック電極710A、710B、710Cにそれぞれ電流注入することにより、独立に発光することができる。この半導体レーザは半導体層の平坦性が高く、かつ量子井戸構造の井戸層と障壁層のヘテロ界面の組成変化が急峻であるので、各々の光ビームの水平横モードの近視野像はストライプ全幅でほぼ均一になり、スポット状発振はみられない。またこの時の遠視野像はガウスビームに近くなる。また量子サイズ効果が高くなり、高温でも大出力発振可能である。

【0037】以上の実施例ではAlGaAs系に付いて述べたが、本発明はAl、Ga、In、As、P、Sb等を含む他の化合物半導体層を用いた場合にも有効である。

【0038】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば以下のような効果を有する。

【0039】半導体層の平坦度が高く、ヘテロ界面の組成変化も急峻であるため、活性層でのスポット発振が抑制され、水平横モードの近視野像が均一で安定したものとなる。また、これにより遠視野像もガウスビームに近いものが得られる。さらに、光学破壊につながる様な光の局所集中が無いため、極めて長寿命、かつ高出力駆動可能である。

【0040】半導体層の平坦度が高いので、光導波路内は凹凸の無い構造となり、内部損失が抑制され、非常に高い発振効率を得られる。また量子井戸の膜厚むらが小さいので発振波長のスペクトルの幅が狭くなる。

【0041】ヘテロ界面の組成変化が急峻であるため、量子井戸の量子サイズ効果が高まり、高い発光効率、高速のパルス応答特性が得られる。また高温動作においても、安定して発振可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例1における半導体レーザの斜視図。

【図2】 本発明の実施例1における多重量子井戸層の詳細を示す断面図。

【図3】 本発明の実施例2における半導体レーザの斜視図。

【図4】 本発明の実施例2における多重量子井戸層の詳細を示す断面図。

【図5】 本発明の実施例3における半導体レーザの斜視図。

【図6】 本発明の実施例3における多重量子井戸層の詳細を示す断面図。

【図7】 本発明の実施例4における半導体レーザの斜視図。

【図8】 本発明の実施例4における多重量子井戸層の詳細を示す断面図。

【図9】 半導体レーザの水平横モードの発光近視野像を示す図。

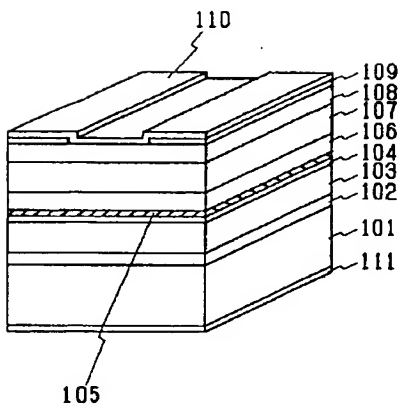
【図10】 半導体レーザの水平横モードの発光近視野像を示す図。

【符号の説明】

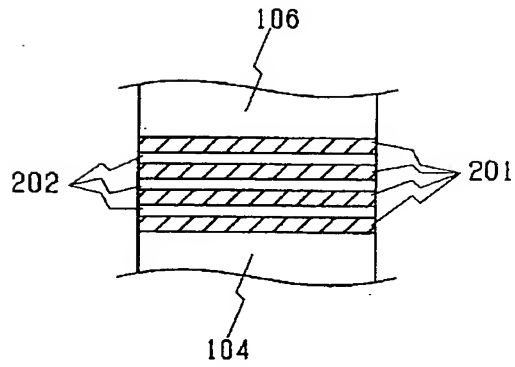
- 101 n型GaAs基板
- 102 n型GaAsバッファ層
- 103 n型Al_{0.31}Ga_{0.69}Asクラッド層
- 104 n型Al_{0.21}Ga_{0.79}As光閉じ込め層
- 105 多重量子井戸活性層
- 106 p型Al_{0.21}Ga_{0.79}As光閉じ込め層

- 107 p型Al_{0.31}Ga_{0.69}Asクラッド層
- 108 p型GaAsコンタクト層
- 109 SiO₂層
- 110 p型オーミック電極
- 111 n型オーミック電極
- 201 GaAs井戸層
- 202 Al_{0.21}Ga_{0.79}As障壁層
- 301 n型GaAs基板
- 302 n型GaAsバッファ層
- 10 303 n型Al_{0.31}Ga_{0.69}Asクラッド層
- 304 n型Al_{0.21}Ga_{0.79}As光閉じ込め層
- 305 多重量子井戸活性層
- 306 p型Al_{0.21}Ga_{0.79}As光閉じ込め層
- 307 p型Al_{0.31}Ga_{0.69}Asクラッド層
- 308 p型GaAsコンタクト層
- 309 SiO₂層
- 310A、310B、310C p型オーミック電極
- 311 n型オーミック電極
- 401 GaAs井戸層
- 20 402 Al_{0.21}Ga_{0.79}As障壁層
- 501 n型GaAs基板
- 502 n型GaAsバッファ層
- 503 n型Al_{0.33}Ga_{0.67}Asクラッド層
- 504 n型Al_{0.27}Ga_{0.73}As光閉じ込め層
- 505 多重量子井戸活性層
- 506 p型Al_{0.27}Ga_{0.73}As光閉じ込め層
- 507 p型Al_{0.33}Ga_{0.67}Asクラッド層
- 508 p型GaAsコンタクト層
- 509 ZnS_{0.06}Se_{0.94}層
- 30 510A、510B p型オーミック電極
- 511 n型オーミック電極
- 601 GaAs井戸層
- 602 Al_{0.27}Ga_{0.73}As障壁層
- 701 n型GaAs基板
- 702 n型GaAsバッファ層
- 703 n型Al_{0.30}Ga_{0.70}Asクラッド層
- 704 n型Al_{0.25}Ga_{0.75}As光閉じ込め層
- 705 多重量子井戸活性層
- 706 p型Al_{0.25}Ga_{0.75}As光閉じ込め層
- 40 707 p型Al_{0.30}Ga_{0.70}Asクラッド層
- 708 p型GaAsコンタクト層
- 709 ZnS_{0.06}Se_{0.94}層
- 710A、710B、710C p型オーミック電極
- 711 n型オーミック電極
- 801 GaAs井戸層
- 802 Al_{0.25}Ga_{0.75}As障壁層

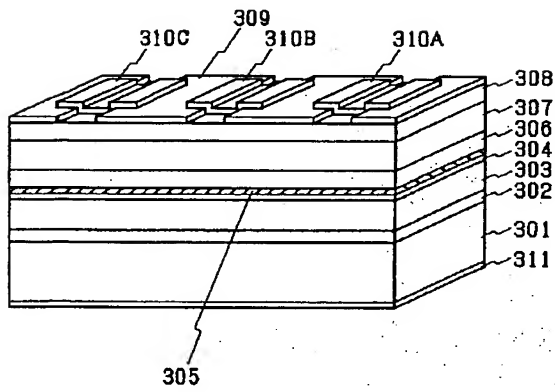
【図1】



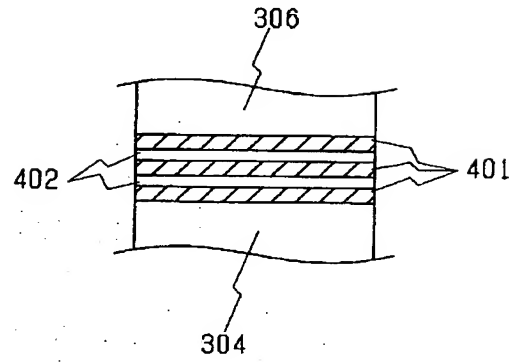
【図2】



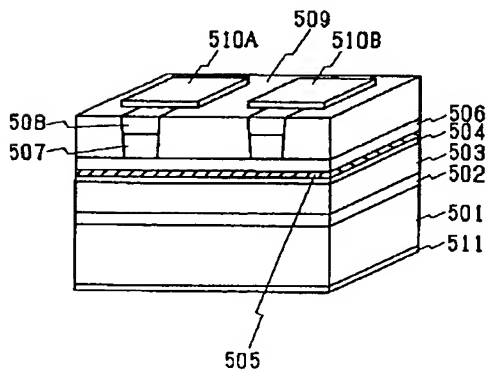
【図3】



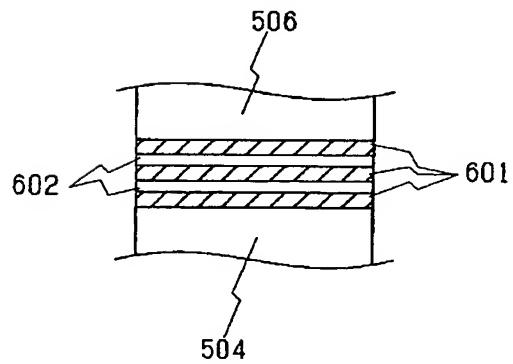
【図4】



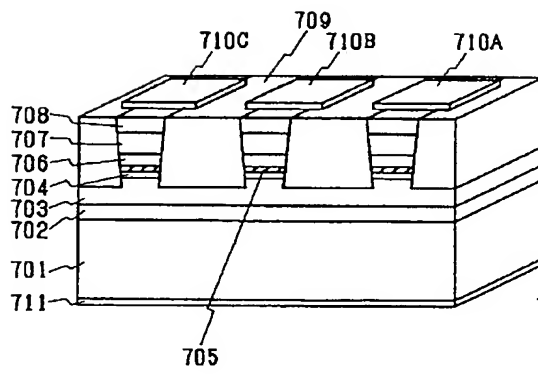
【図5】



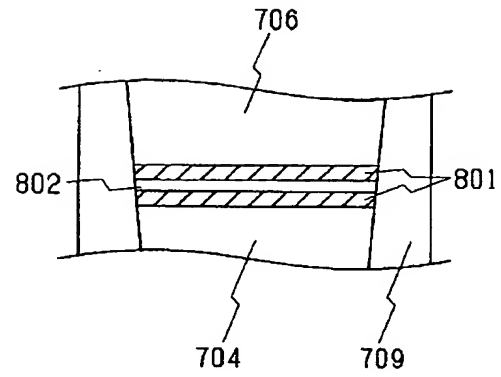
【図6】



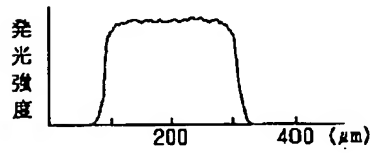
【図7】



【図8】

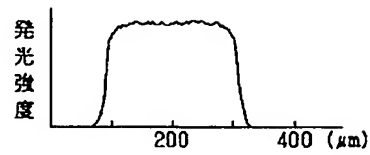


【図9】

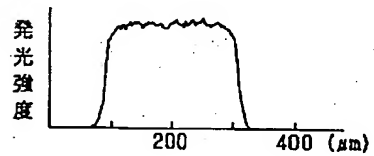


(a)

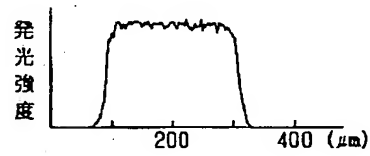
【図10】



(a)



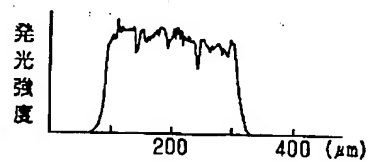
(b)



(b)



(c)



(c)